Sub-50nm급 나노 임프린트 리소그래피장비 기술

이재종, 최기봉, 김기홍 / 한국기계연구원

1. 서 론

최근 국내외 적으로 나노기술을 이용하여 반도체기반 메모리, 기능성디바이스, 고감도 기능성센서 및 병원균검출을 위한 나노바이오센서 등 제품에 적용하고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이 외에, 최근 차세대 소형 LCD, FPD, DVD, 마이크로 렌즈, 광통신부품 및 고에너지 부품 (Solar Cell)의 고기능화 및 고집적도가 요구되면서 sub-㎛~수십 ㎛ 수준의 극초미세형상을 대량으로 제작할 수 있는 차세대 공정/장비의 필요성이 급격히 증가하고 있다. 이와 같이 나노기술을 이용하여 제품에 적용하기 위해서는 제품을 생산할 수 있는 나노제조기술이 필수적 요구된다. "구슬도 꿰야 보배이다"라는 속담에 있듯이 나노기술을 제품에 적용해야만이 의미가 있고 가치가 있다. 이와 같이 나노기술을 이용하여 제품을 만들 수 있기 위해서는 나노공정장비가 필수적이다. 나노공정장비로는 나노임프린트장비(NIL), 전자빔리소그래피(EBML), 극자외선 리소그래피(EUVL), 주사식프로브현미경(SPM), 반도체공정 장비 등이 있다. 여기서는 국외적으로 중요한 이슈로 부각되고 있으며, 나노제품을 생산하는데 있어 생산비용와 품질의 측면에서 우수한 나노임프린트 장비에 대해서 기술하고자 한다.

반도체공정 국제기술로드맵(ITRS2005)에서 차세대 리소그래피장비로 알려진 나노임프린트장비는 현재 세계적으로 몇 개의 기업에서 상품화하고 있으며, 국내에서는 나노메카트로닉스 기술개발사업단(과학기술부 21세기 프론티어사업)의 지원으로 Sub-50nm급 나노임프린트 장비가 개발되어 상품화되었으며, 완성도가 높은 나노임프린트 리소그래피 장비가 개발되고 있다.

2. 외국의 기술개발동향

나노 임프린팅 리소그래피 장비는 최근 5년 동안 미국, 유럽을 중심으로 선폭 100nm 이하를 실현하고, 실현된 기술을 이용하여 제품에 적용하기 위한 방법으로 나노 임프린팅 리소그래피(NIL, Nano-Imprint Lithography) 장비를 개발하여 상품화를 시도하고 있다. 개발되는 장비는 사용하는 재료의 특성에 따라 자외선에 경화가 되는 광경화재료(photoresist)를 사용하는 UV 방식의 나노임프린트리소그래피 장비(UV-NIL)과 고온엠보싱 공정에 사용되는 레진은 일정한 천이온도(glass temperature)이상에서 상변화가 생긴 후 냉각하면 원래의 형상으로 변화하면서 경화되는 써모플라스틱 레진과 일정 온도이상에서 상이변한 후 냉각을 하더라도 변화가 없는 써모셋 레진열경화재료(thermal resist)를 사용한 고온방식 나노임프린트(TH-NIL)장비가 있다.

나노 임프린팅 리소그래피 장비를 개발하여 상품화하고 있는 업체는 오스트리아의 EVG사, 미국의 MII, Nanonex, 스웨덴의 Obducat, 독일의 Suss Microtec이

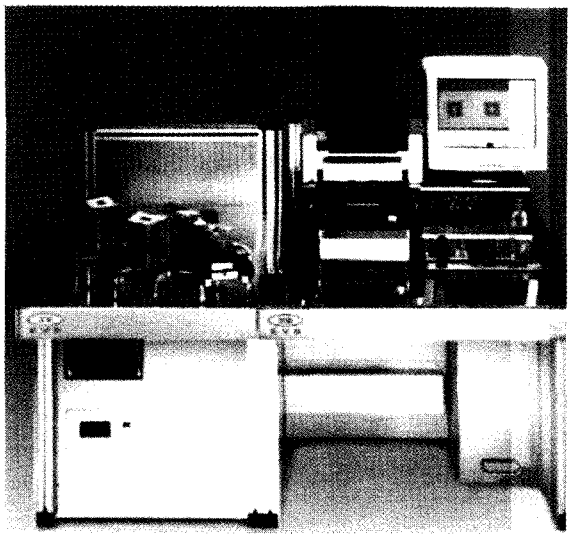
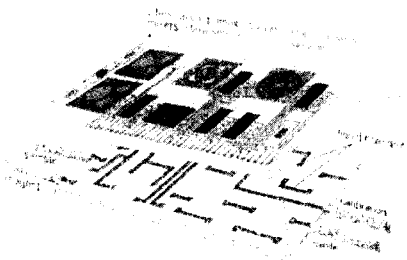


그림 1 EVG 620 임프린팅 리소그래피 장비

있다. EVG와 Suss Microtec은 기존의 생산되던 반도체 정렬장비와 플립칩본더(Flip Chip Bonder)의 구조를 수정하여 임프린팅장비를 개발한 회사이다. MII, Nanonex, Obducat은 공정기술을 바탕으로 나노 임프린팅장비를 개발하여 상품화를 시도하고 있다. 특히, MII와 Nanonex는 대학에서 공정기술과 장비를 개발하여 상품화를 시도하고 있다.

EVG는 Fig.1과 같이 마스크정렬장치를 기반으로 6인치 웨이퍼, XY-θ 스테이지, DC-motorized 이송계를 이용하여 위치정렬오차(Align accuracy)가 240nm ~ 450nm, 분해능 100nm 이하인 UV방식의 나노 임프린팅 장비와 온도와 압력을 이용한 고온 나노임프린트장비를 개발하여 상품화하고 있다. EVG에서는 개발한 장비를 이용하여 Fig.2와 같이 DNA chip, Microfluidics, Insulin-pump 등에 적용하고 있다.



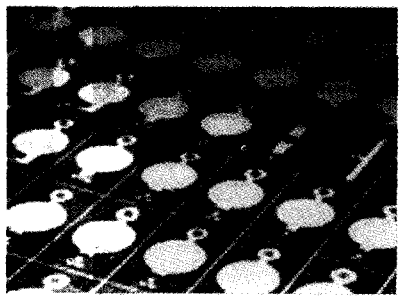


그림 2 마이크로채널과 마이크로-인슐린펌프

MII는 Fig.3과 같이 작은 작업영역(field size)의 스템프를 이용하여 연속적인 작업을 수행하는 SFIL(step & flash imprint lithography) 방법을 이용하여 장비의 분해능 100nm 이하, CD (critical dimension) 제어값 ±2nm (3σ), 패턴막 두께 60nm (3σ), Field size 25x25mm2으로 2in ~ 8in 크기의 웨이퍼에서 임프린팅을 구현할 수 있는 UV방식의 나노 임프린팅 장비를 개발하여 상품화를 추진하고 있다. Fig.4는 자동정렬 시스템의 개념도이고, Fig.5는 개발된 장비를 이용한 실험결과이다.

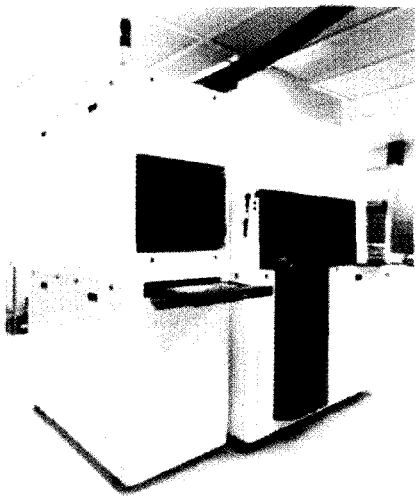


그림 3 MII 나노임프린트장비 (Imprio100)

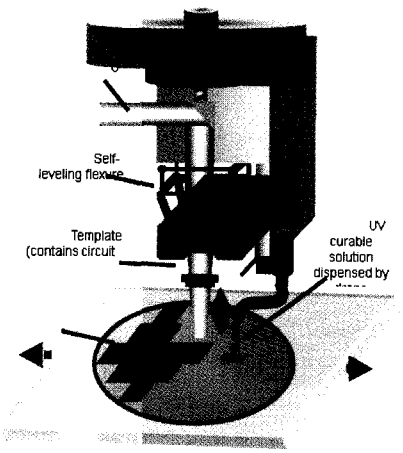
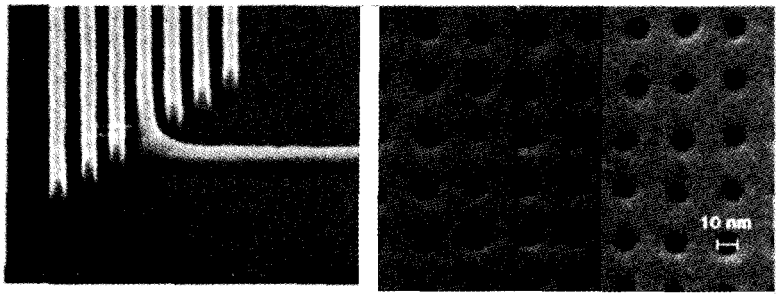


그림 4 자동정렬시스템

Suss MicroTec은 EVG와 유사하게 종래의 플립칩본더를 기반으로 선폭100nm



(a)30nm Line (b)10nm dia/40nm period

그림 5 나노임프린팅실험 결과

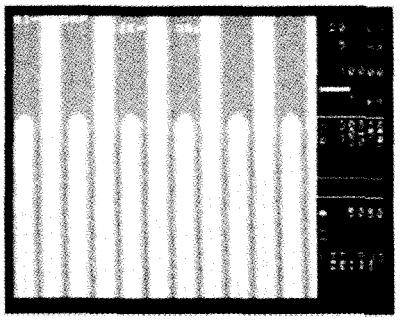
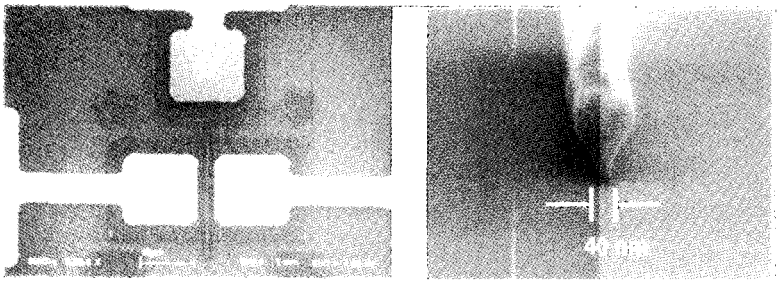
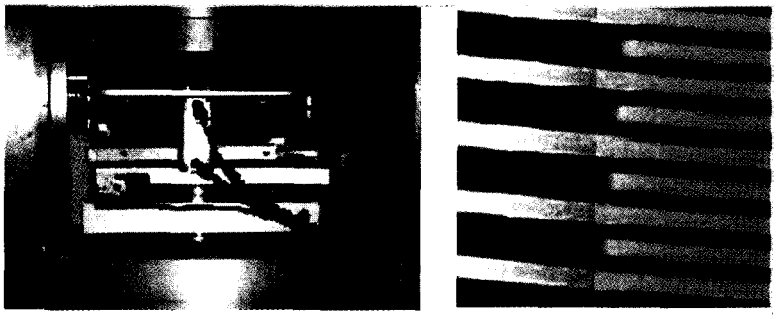


그림 6 나노임프린팅 실험결과 (Suss MicroTec)



60nm 채널 MOSFET 40nm 레지스트 라인

그림 7 나노임프린팅 실험결과 (Nanonex)



소프트프레싱 바이오센서

그림 8 소프트프레싱 구조 및 응용

이하, 오버레이 500nm (3σ), 최대압력 2kpsi, 웨이퍼크기 2~8 in, Field Size 40x40mm와 가열온도 450℃까지 올릴 수 있는 방법으로 UV방식와 고온엠보싱 방식의 장비를 개발하고 있다. 임프린팅방법은 MII와 유사하게 연속적으로 필드크기의 스템프 또는 마스터를 이동시키면서 임프린팅공정을 수행한다. Fig.6은 개발장비를 이용하여 제작된 바이오센서 패턴이다.

NanoNex는 선폭 100nm를 구현하기 위해서 UV방식과 고온 엠보싱방식의 장비를 개발하고 있으며, MII, EVG, Suss MicroTec과는 다르게 한번의 작업으로 전체 웨이퍼에 패턴을 전사하는One-shot방식의 패터닝방식을 적용하고 있다. NanoNex 장비는 오버레이 500nm (3σ), 필드크기 4in~6in, 압 력 300psi/600psi (option)을 구현하고 있으며, CMOS, 정보저장메모리, 센서 등의 다양한 공정을 개발하고 있다.

Obducat은 온도와 압력을 이용한 고온 엠보싱 방식의 임프린팅 장비를 개발하고 있고, Si, GaAs, InP, 폴리머, 세라믹, 금속을 이용하여 프린팅균일도±10nm, 최대온도 250°C, 최대압력 70 바(bar), 스템프 크기 φ65mm로 작업을 하도록 되어있고, 임프린팅시의 하중영향을 줄이기 위해서 소프트 프레싱기능을 부가하여 기능을 가지고 있다. Fig.8은 Obducat의 소프트프레싱유니트 및 실험결과이다.

3. 국내의 기술개발 현황

나노메카트로닉스 기술개발사업단과 한국기계연구원에서 차세대 리소그래피 장비로 인식되고 있는 선폭 50nm이하를 구현할 수 있는 나노 임프린팅 리소그래

피 장비를 개발하고 있으며, 4인치 장비는 기업을 통하여 상용화했으며, 현재는 8인치급에서 Sub-30nm를 구현할 수 있는 완성도가 높은 다층 임프린팅이 가능한 나노임프린트 리소그래피 장비를 개발하고 있다. 여기서는 개발되고 있는 나노임프린트 장비에 관해서 간략하게 기술하고자 한다. 나노임프린팅시 패턴이 있는 임프린팅 스템프는 경사진 상태에서 임프린팅을 할 경우 웨지(wedge)현상이 발생하기 때문에 구조적으로 스템프와 웨이퍼 면을 서로 평행하게 유지해 주는 것이 매우 중요하다. 하지만 기구의 가공 및 조립 오차로 인하여 완벽하게 평행을 유지하는 것이 매우 어렵기 때문에 미소한 비평형면을 기구적 운동에 의해 평형 면을 이루도록 보상해 주어야 한다. 이러한 방법으로 능동구동 방식과 수동적 컴플라이언스 메커니즘을 이용하는 방법이 있다.

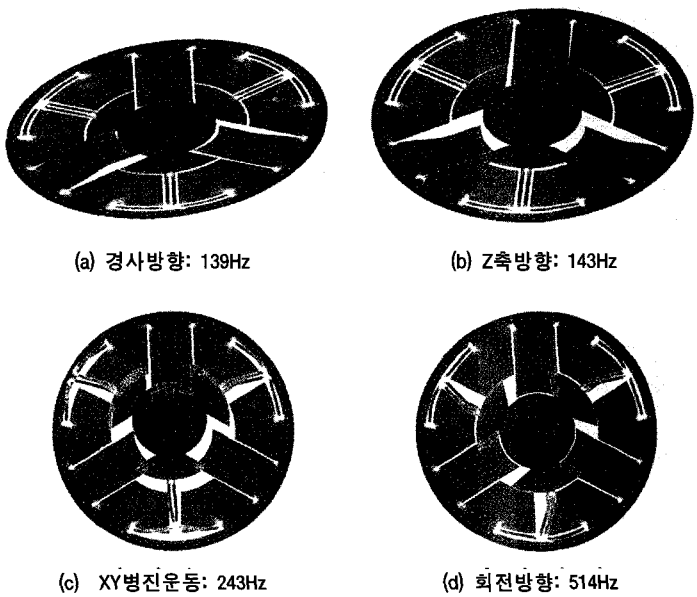


그림 9 수동적 메카니즘 운동특성해석 결과

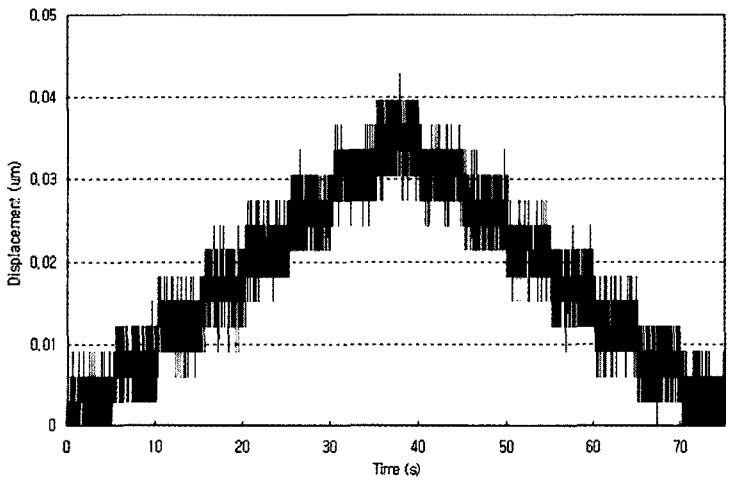


그림 10 나노스테이지의 분해능 (5nm)

능동적인 방식은 기본적으로 센서를 이용하여 임프린팅간극을 측정하여 임프린팅을 하기 때문에 시스템의 셋업이 어렵지만 비교적 양호한 임프린팅 결과를 얻을 수 있고, 수동적 컴플라이언스 메커니즘을 이용한 방법은 작용하는 임프린팅 하중을 이용하여 스템프와 웨이퍼의 평행화를 시킨 후 임프린팅을 수행하기 때문에 공정조건에 영향을 받기 때문에 공정조건의 안정화가 중요하다.

수동적 컴플라이언스 메커니즘의 구동방법은 선형으로 구동되어 웨이퍼에 접근하는 스템프가 초기 단계에서 웨이퍼 면과 비평행면을 이루기 때문에 웨이퍼 면에 접촉할 때에는 어느 한 점부터 접촉된 후 계속 가압에 의해 전 면에 걸쳐 접촉이 이루어진다. 따라서, 스테이지는 스템프와 평행을 이루도록 가압이 됨에 따라 웨이퍼 면이 스템프와 현행하게 접촉하도록 이루어진다. Fig.9는 제작된 컴플라이언스 스테이지의 FEM해석 결과이며, FEM 해석을 통해서 스테이지의 진

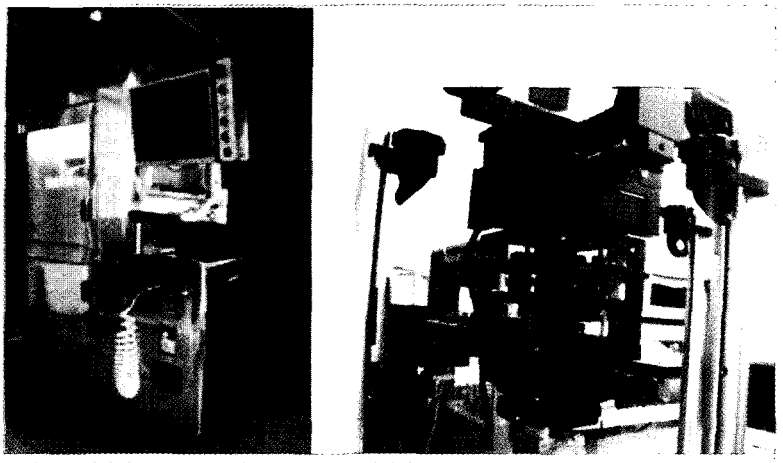
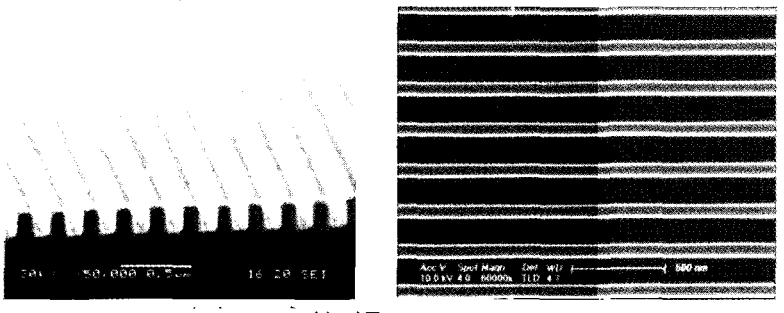
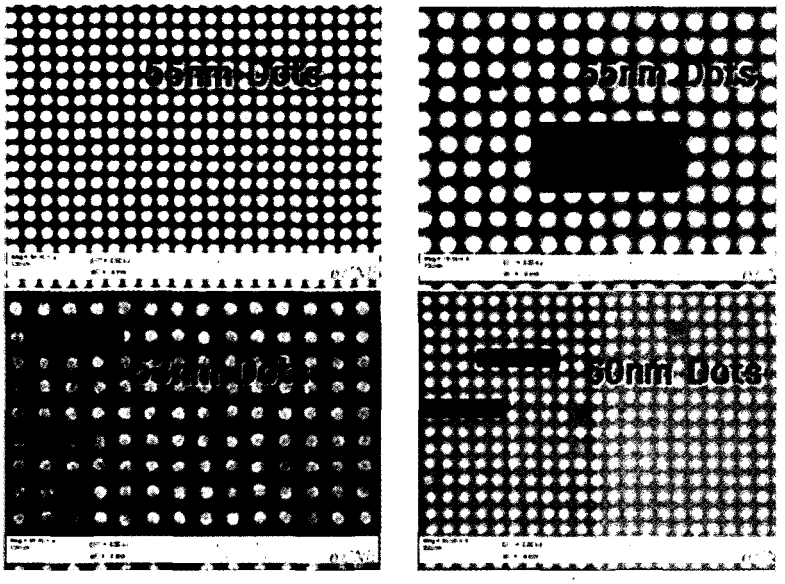


그림 11 개발된 UV-NIL장비(ANT-4) 및 오버레이/정렬시스템



(a) 선폭100nm, 70nm



(b) 선폭53nm~60nm Dot

그림 12 개발된 나노임프린트장비(ANT-4)를 이용한 실험결과 (50nm~100nm)

동모드 및 고유진동수를 구하여 나노스테이지와 연계한 유니트를 제작했다. Fig.10은 개발된 나노스테이지의 위치정도를 측정한 결과로써, 5nm의 분해능을 얻은 결과이다. 나노임프린트장비의 요소기술로써 절연주파수 1.5Hz이하의 제진시스템과 스템프와 웨이퍼의 디몰딩기술이 개발되어 Fig.11과 같이 개발된 나노임프린트 장비(Model: ANT-4)에 설치되어 상용화되었다. 또한, 나노임프린트장비를 이용하여 2층 이상의 다층구조에서 나노임프린트공정을 구현하는데 필수적인 오버레이/정렬시스템이 개발되어 후속모델에 장착될 예정이다.

그림12는 개발된 UV기반 나노임프린팅 장비(ANT-4)를 이용한 얻어진 나노임프린팅 실험결과의 FE-SEM측정결과이며, SEM측정결과 선폭 70nm, 75nm, 86nm, 100nm의 선 및 점 형상이 구현되었음을 알 수 있다.

또한, 개발장비를 이용하여 4인치 전체에서 임프린팅 시험한 결과 Fig.13과 같이 4인치 웨이퍼 전체 면에서 균일하게 약 50nm선폭으로 패터닝이 이루어졌음을 알 수 있다. Fig.14는 개발된 고온 나노임프린트 장비를 이용하여 PDMS에 임프린팅한 실험결과이다. 스템프는 DVD Blu-ray 디스크(100nm~ 300nm선폭) 스템프를 이용했다.

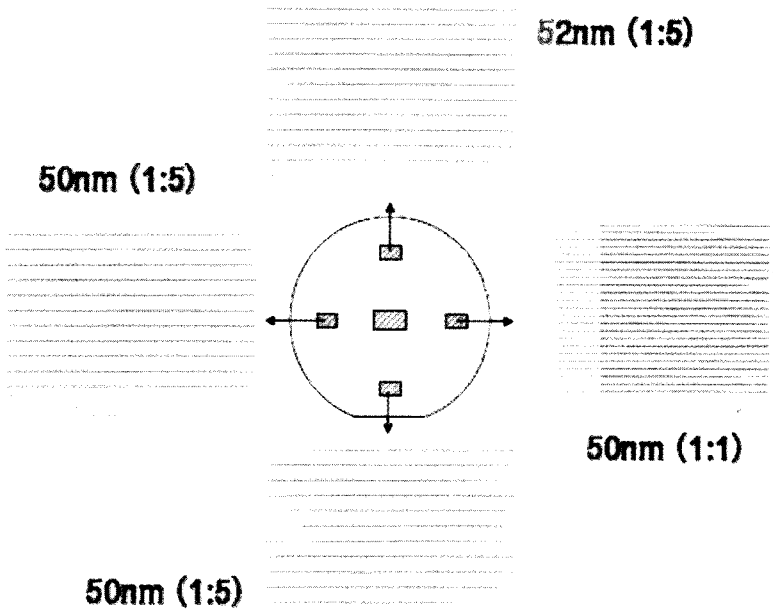


그림 13 개발된 나노임프린트장비(ANT-6H)를 균일임프린팅 실험결과

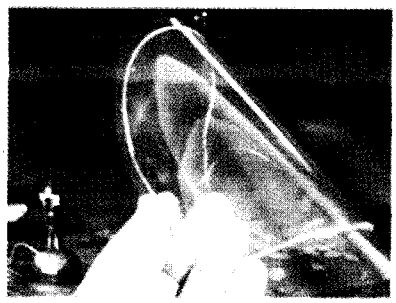


그림 14 PDMS 임프린팅실험결과 (100nm)

4. 결 론

차세대 리소그래피 장비로 인식되고 나노임프린트 리소그래피 장비는 현재 미국, 독일, 한국에서 개발되어 상품화되고 있다. 유럽과 미국을 중심으로 향후 급속히 팽창할 나노제품 시장을 점유하기 위해서 최근 3~5년 동안 연구개발을 수행해 왔고, 최근 30nm급의 메모리소자 및 나노기능성 소자의 필요성이 대두되면서 나노임프린트 리소그래피 장비의 필요성이 증가할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. S.V. Sreenivasan, et al, "Low-cost nanostructure patterning using step and flash imprint lithography" , NIST-SPIE Conference on Nanotechnology, Sep, 2001
2. D.J. Resnick, et al, " High resolution templates for step and flash imprinting lithography", J. of Microlitho. Microfab. Microsyst. Vol.1, No.3, Oct., 2002
3. B. J. Choi, S. Johnson, M. Colburn, S. V. Sreenivasan and C. G. Willson, 1999, "Design of Template Alignment Stages for Step & Flash Imprint Lithography," Prof of ASPE 1999 Annual Meeting
4. S.Y.Chou, et al, " Imprint Lithography woth sub-10nm Feature Size and High Throughput", Microelectronics Engineering, No.35, 1997
5. Choi B. J. Sreenivasan S. V., Johnson S., Colburn M. and Wilson C. G., "Design of Orientation Stage for Step and Flash Imprint Lithography," Precision Engineering, Vol 25, pp. 192-199, 2001.
6. Choi K.B., "Kinematic Analysis and Optimal Design of 3-PPR Planar Parallel Manipulator," KSME International journal, Vol. 17, No. 4, pp. 528-537, 2003.
7. Lee J.J, Choi K.B and Kim G.H," Design and Analysis of the Single-Step Nanoimprinting Lithography Equipment for Sub-100nm Linewidth," Current Applied Physics(2006)